

Současný vývoj v oblasti fotovoltaiky



Vítězslav Benda
katedra elektrotechnologie
ČVUT Praha - FEL



KATEDRA ELEKTROTECHNOLOGIE FEL PRAHA

Současná fotovoltaika má širokou škálu aplikací

Autonomní PV systémy



PV systémy spojené s rozvodnou sítí

< 10 kW_p



< 100 kW_p



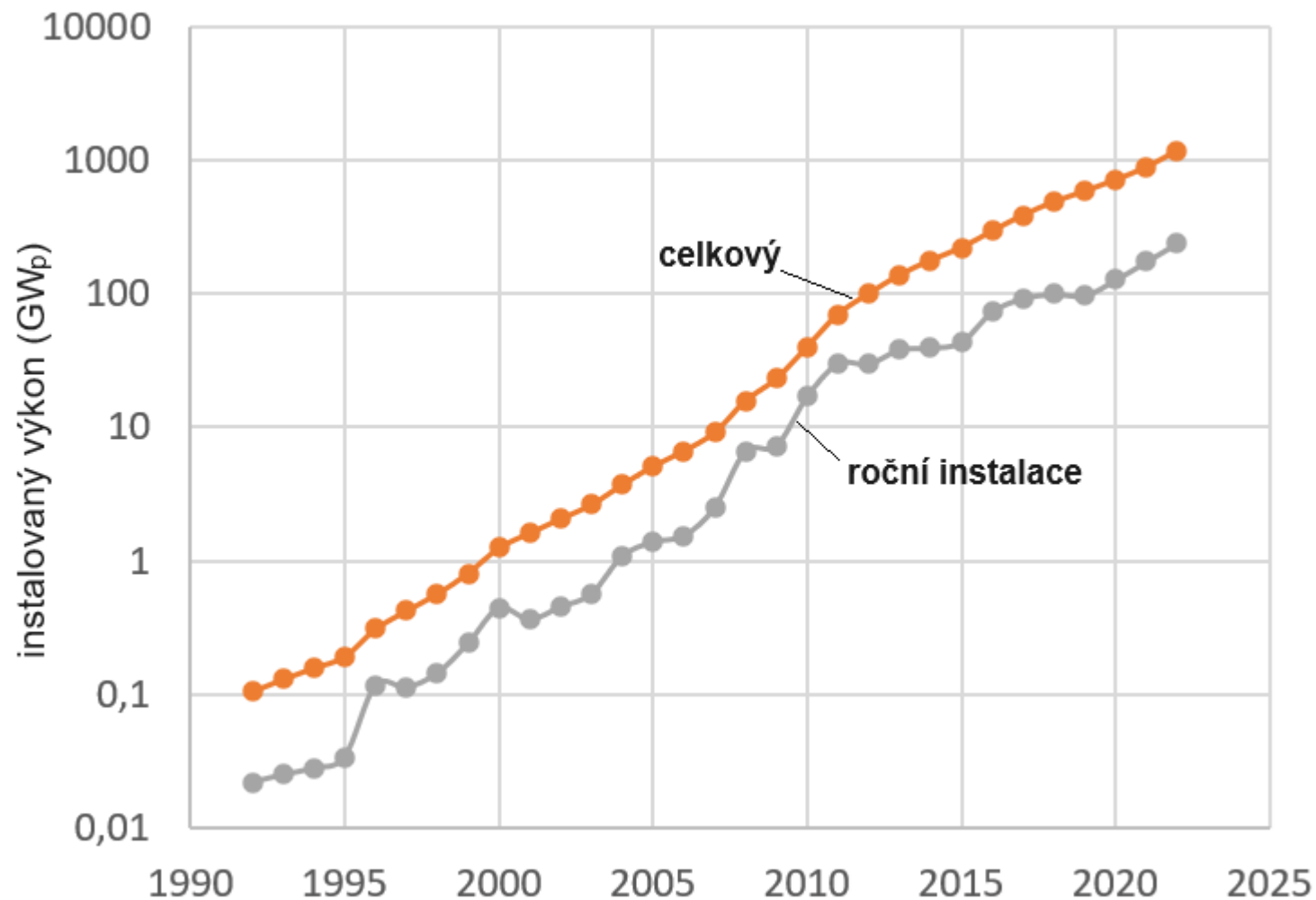
> 100 kW_p



Největší PV elektrárny:

Svět: 2 550 MW_p (Indie, Čína)

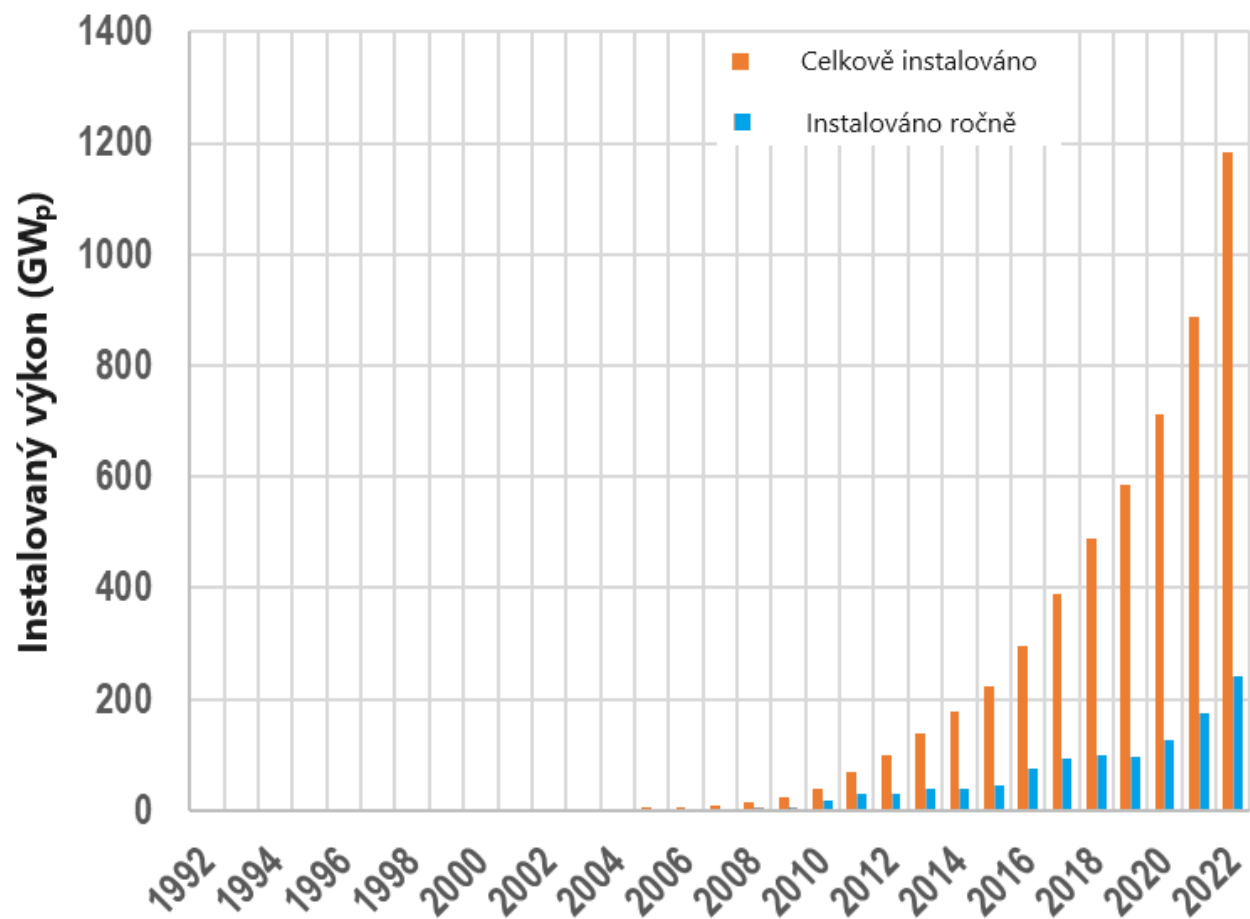
Evropa 1 200 MW_p (Portugalsko)



V roce 2022 se zvýšil instalovaný výkon fotovoltaických elektráren o **240 GW_p**

Celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren dosáhl koncem roku 2022 **1185 GW_p**

Fotovoltaika se stala nejrychleji rostoucím segmentem výroby elektrické energie (nárůst 25 % ročně)

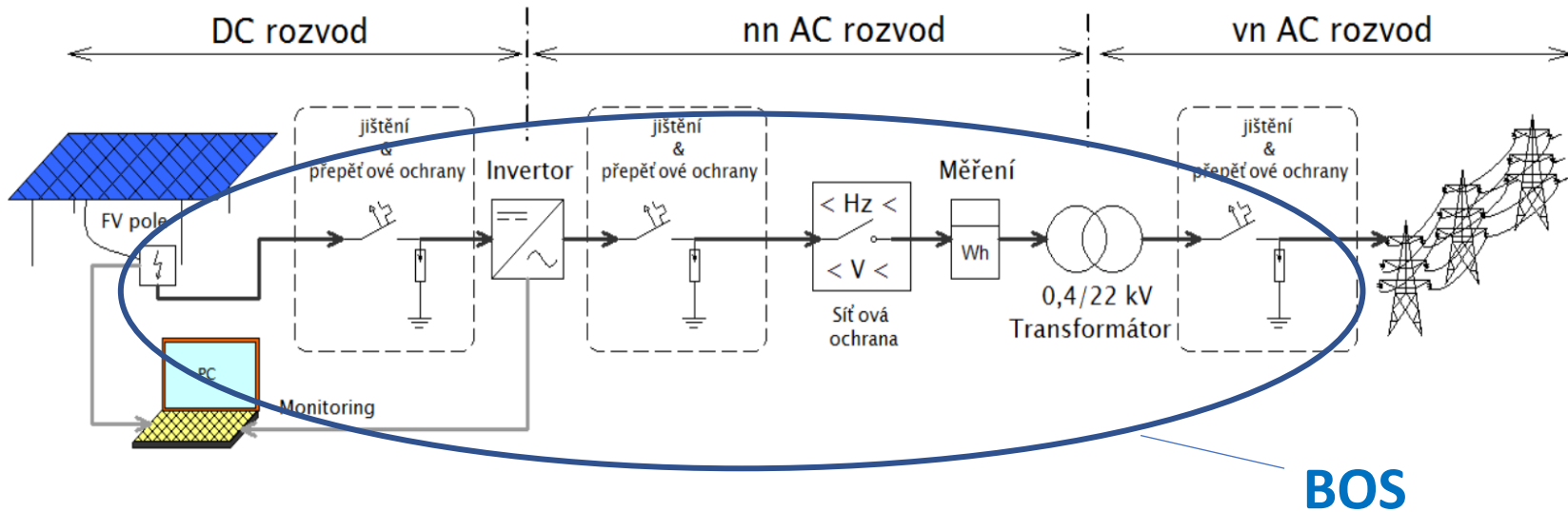


V roce 2022 se zvýšil instalovaný výkon fotovoltaických elektráren o **240 GW_p**

Celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren dosáhl koncem roku 2022 **1185 GW_p**

Fotovoltaika se stala nejrychleji rostoucím segmentem výroby elektrické energie (nárůst 25 % ročně)

Fotovoltaický systém připojený k rozvodné síti



Struktura nákladů

Cena elektřiny vyrobená systémem

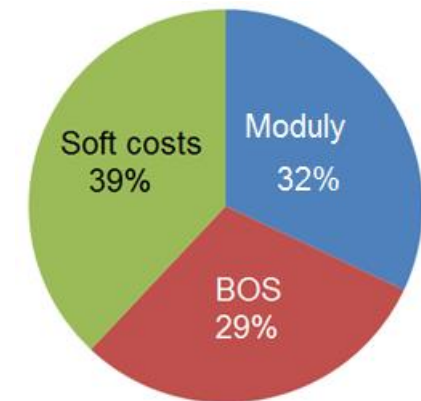
Je-li životnost systému n let

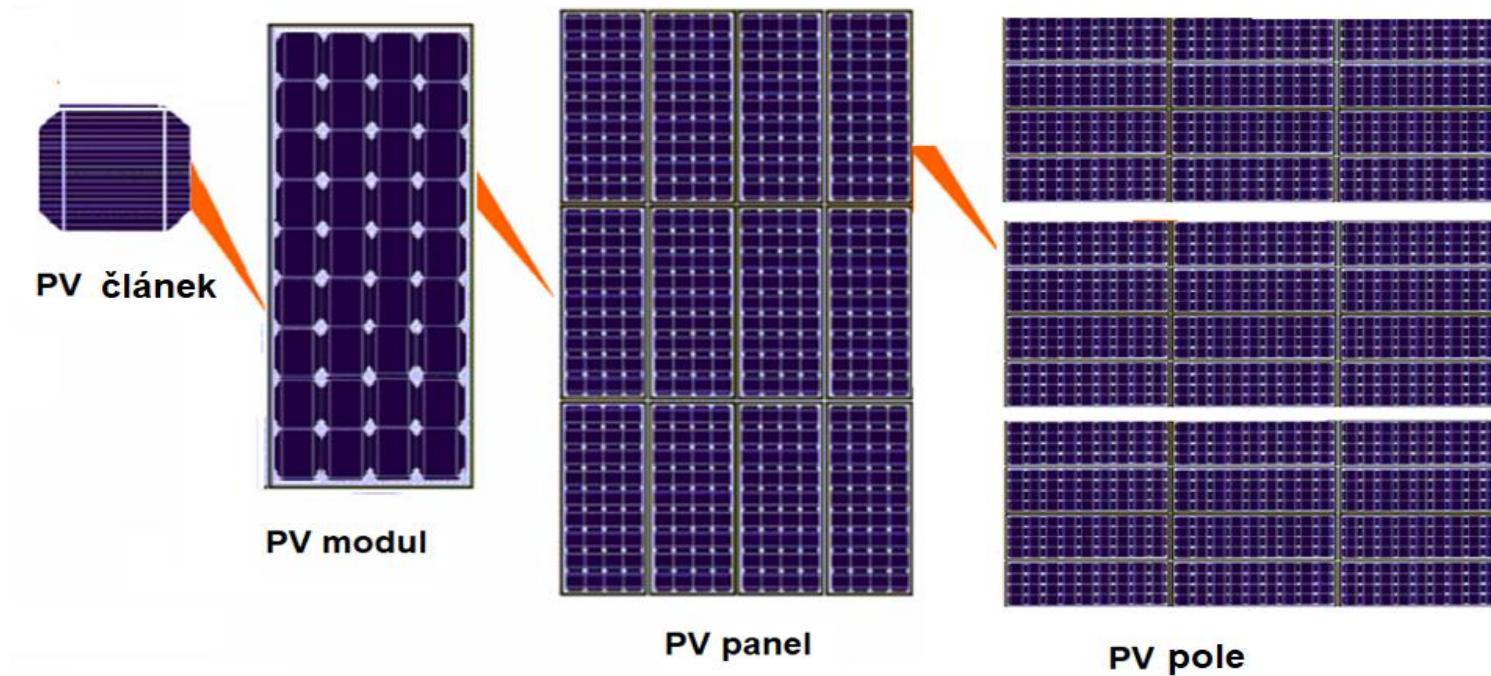
$$LCOE \approx \frac{PC + \sum_1^n PN_i}{\sum_1^n VE_i}$$

PC je pořizovací cena

PN_i jsou roční provozní náklady

VE_i je energie vyrobená zařízením v i -tém roce





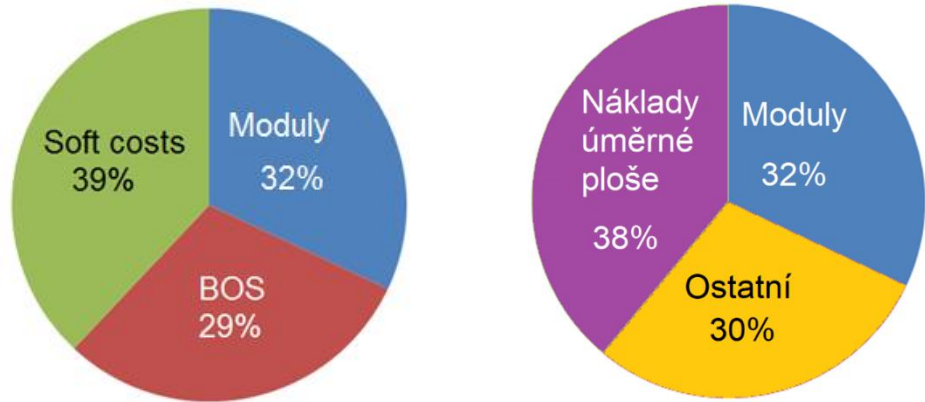
Názvosloví dle ČSN CLC/TS 61836

Moduly musí splňovat kritéria : účinnost > 15 %
cena < 0,4 USD/W_p
životnost > 20 let

Dostupnost surovin

Kritéria nejlépe splňují moduly z krystalického křemíku, které v roce 2022 představovaly více než 96 % celkové produkce (285 GW_p)

Struktura nákladů

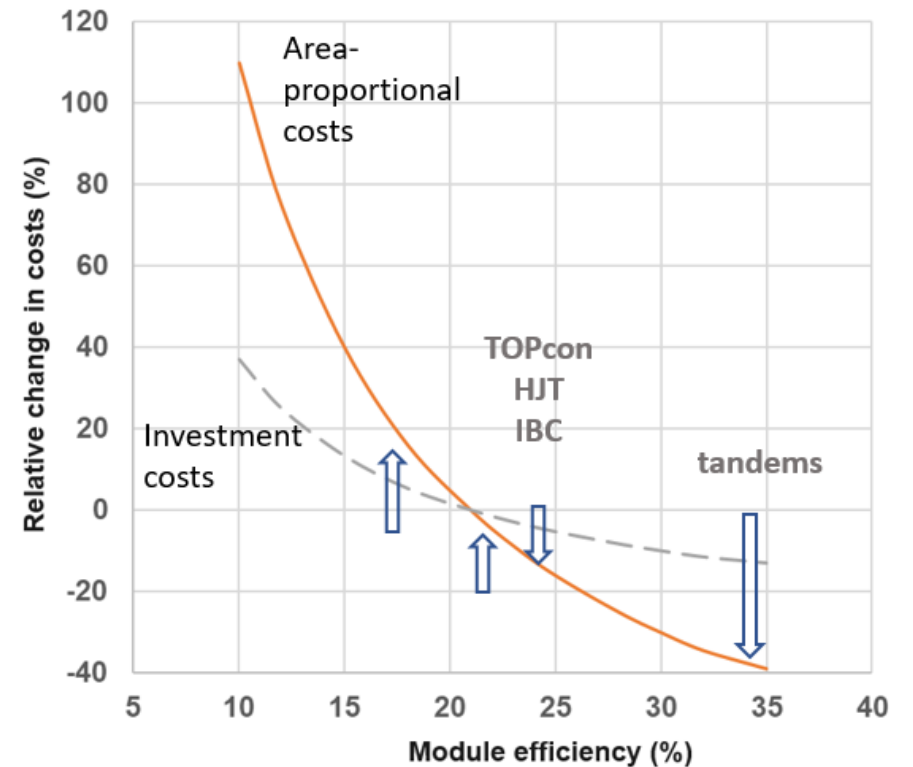


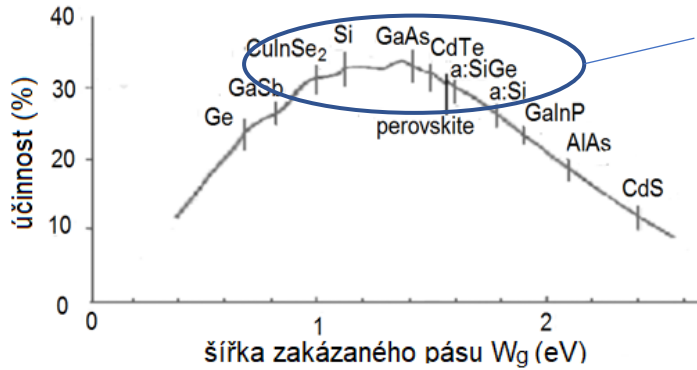
Účinnost modulů ovlivňuje i pořizovací cenu

$$PC = M(\eta) + O + A(\eta) \quad A(\eta) = \frac{K}{\eta}$$

Část nákladů roste s plochou systému.

Tuto část je možno snížit použitím modulů o vyšší účinnosti





vhodné materiály

1. generace

Objemové (destička materiálu)

- **křemík (monokrystalický i multikrystalický)**
- GaAs (monokrystal)

96 %

2. generace

tenkovrstvé články

- amorfnní křemík (a-Si)
- mikrokrystalický křemík (uc-Si),
- kadmium telurid / kademnatý sulfid (CdTe / CdS)
- měď-indium-galium-diselenid (CIGS)
- kerstenity

4 %

3. generace

technologie založené na novějších sloučeninách včetně nanokrystalických vrstev

- tandemové články (např. na bázi A^{III}-B^V)
- DSSC
- aktivních kvantových teček
- bázi organických (polymerů)
- perovskity

R & D

4. generace

„anorganics-in-organics“, tj. kombinace polymerních tenkých vrstev s nanomateriály

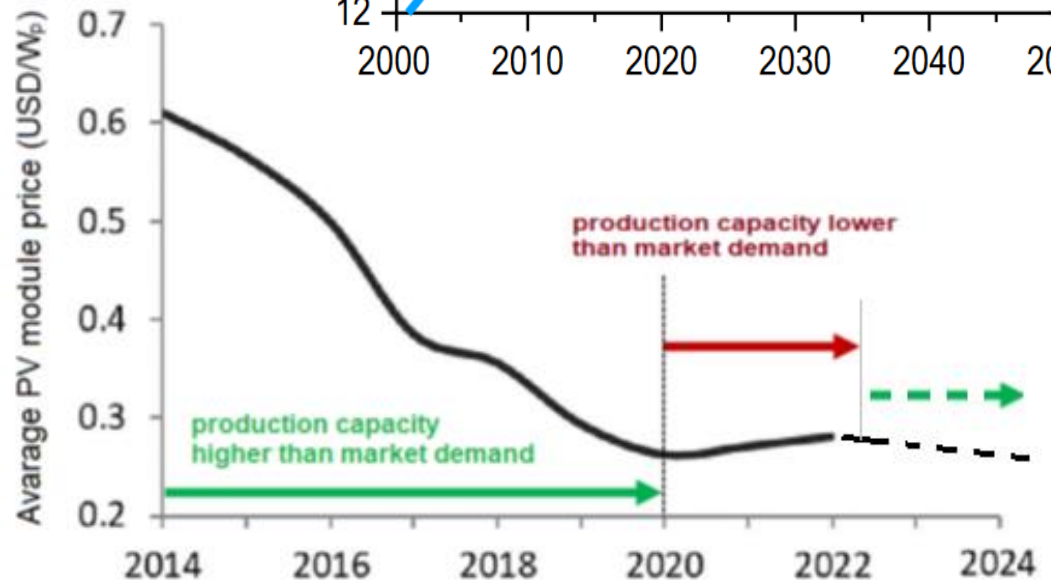
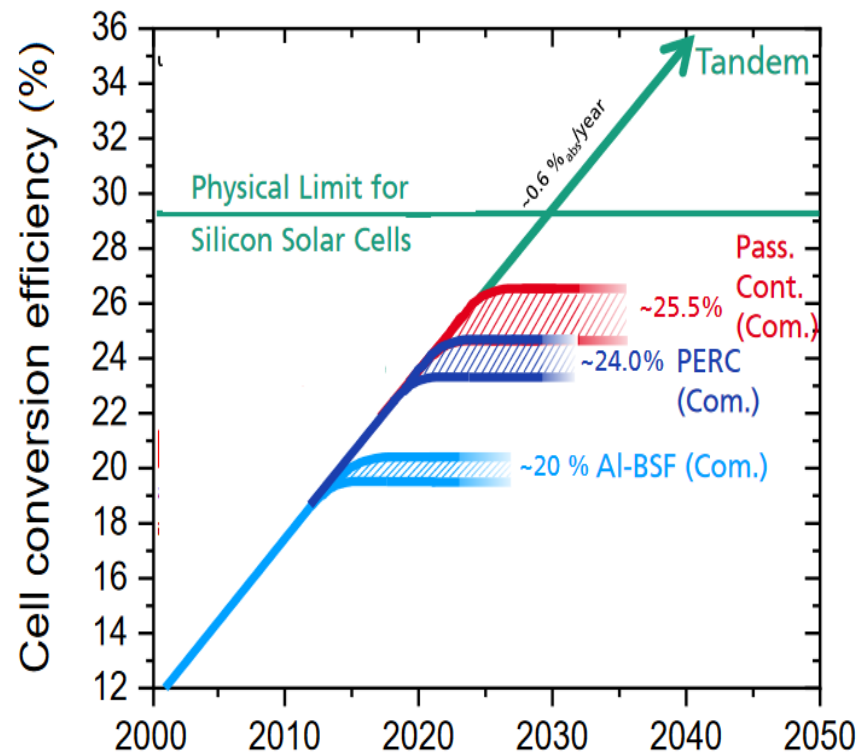
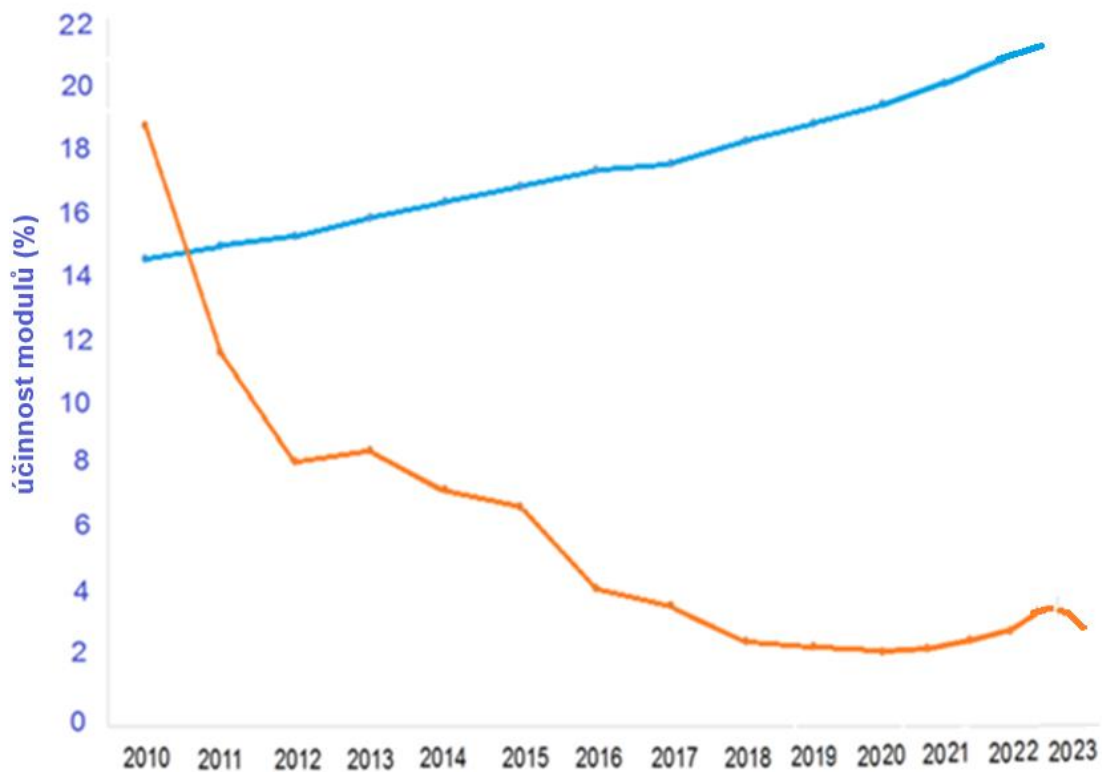
- anorganickými (kovové nanočástice a oxidy kovů)
- organickými (uhlíkové nanotrubičky, grafen atd.)

R

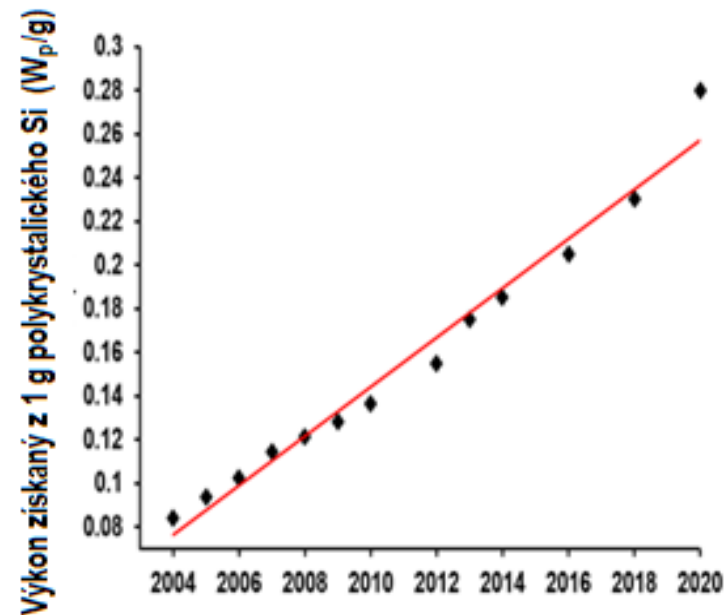
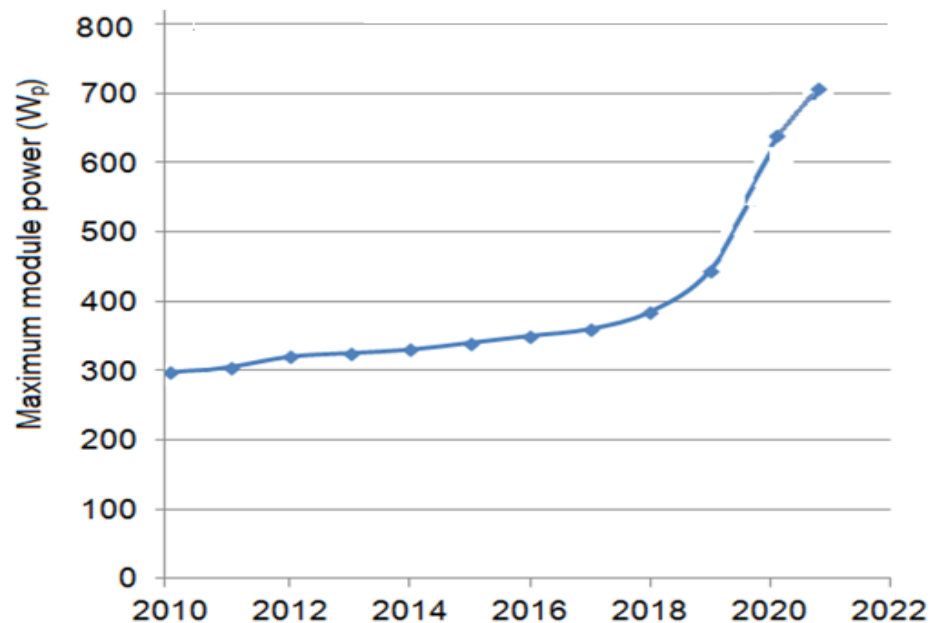
Komponenty fotovoltaických systémů

Fotovoltaické moduly

Převládají moduly z krystalického křemíku, které v roce 2022 představují více než 96 % celkové produkce



Zvyšuje se výkon modulů

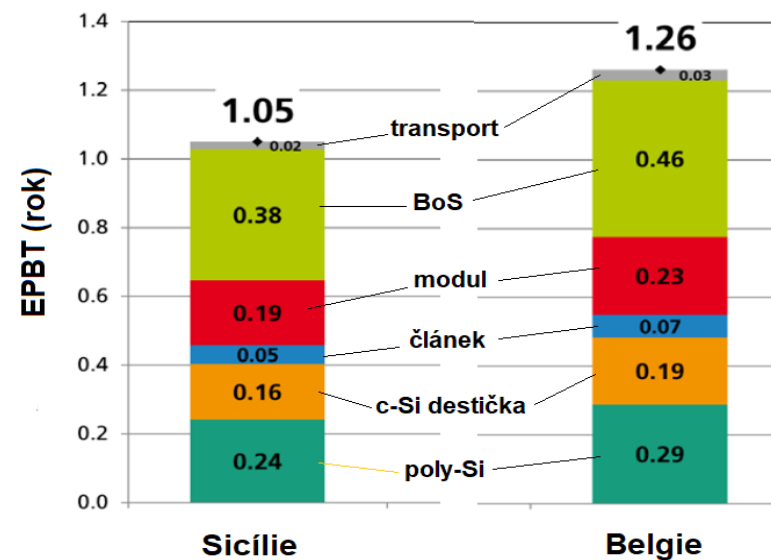


Doba energetické návratnosti **EPBT**

EROEI dosahuje hodnot 10 - 25

Nízký kapacitní faktor 0,1 – 0,25

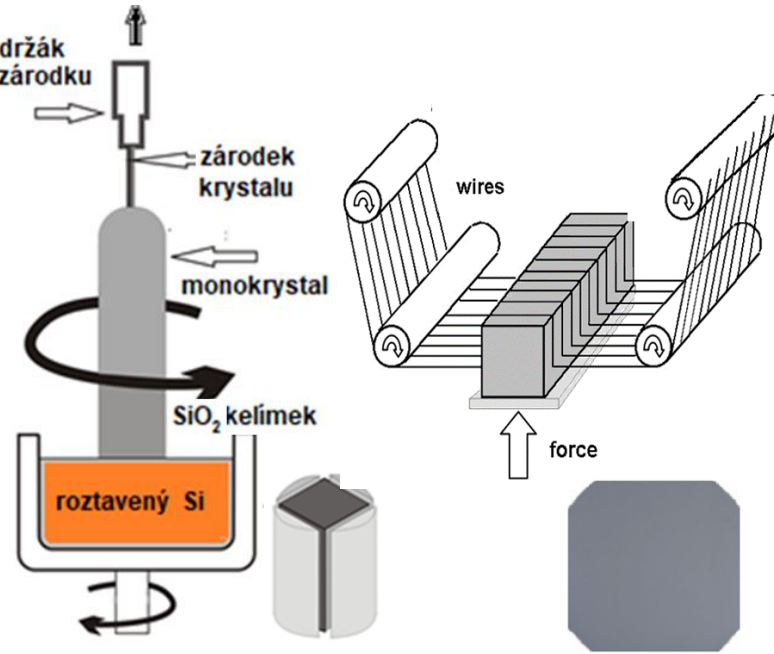
EPBT u PV systému z c-Si PERC modulů



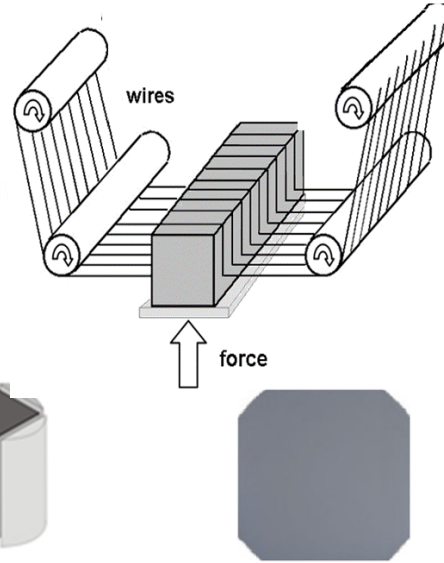
Výrobní (dodavatelský) řetězec



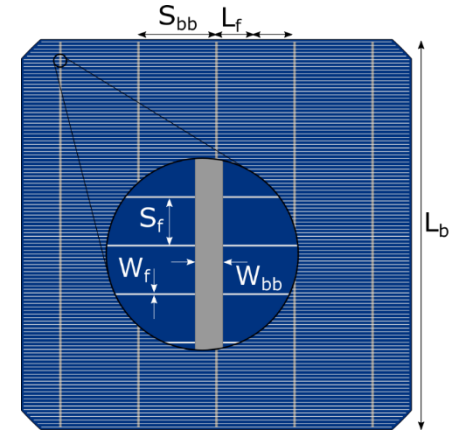
poly – Si (>6N)



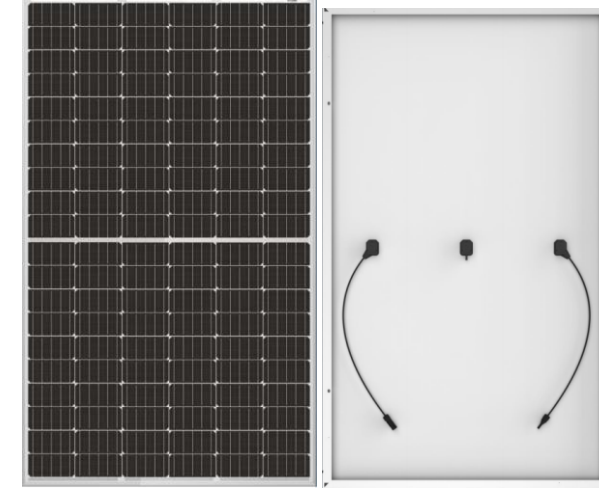
mono ingot



Si destička



PV článek



PV modul

Vertikálně integrované koncerny

Velkosériová výroba s vysokým stupněm automatizace

Přes 50% světové produkce výrobních linek je vyráběno v Číně

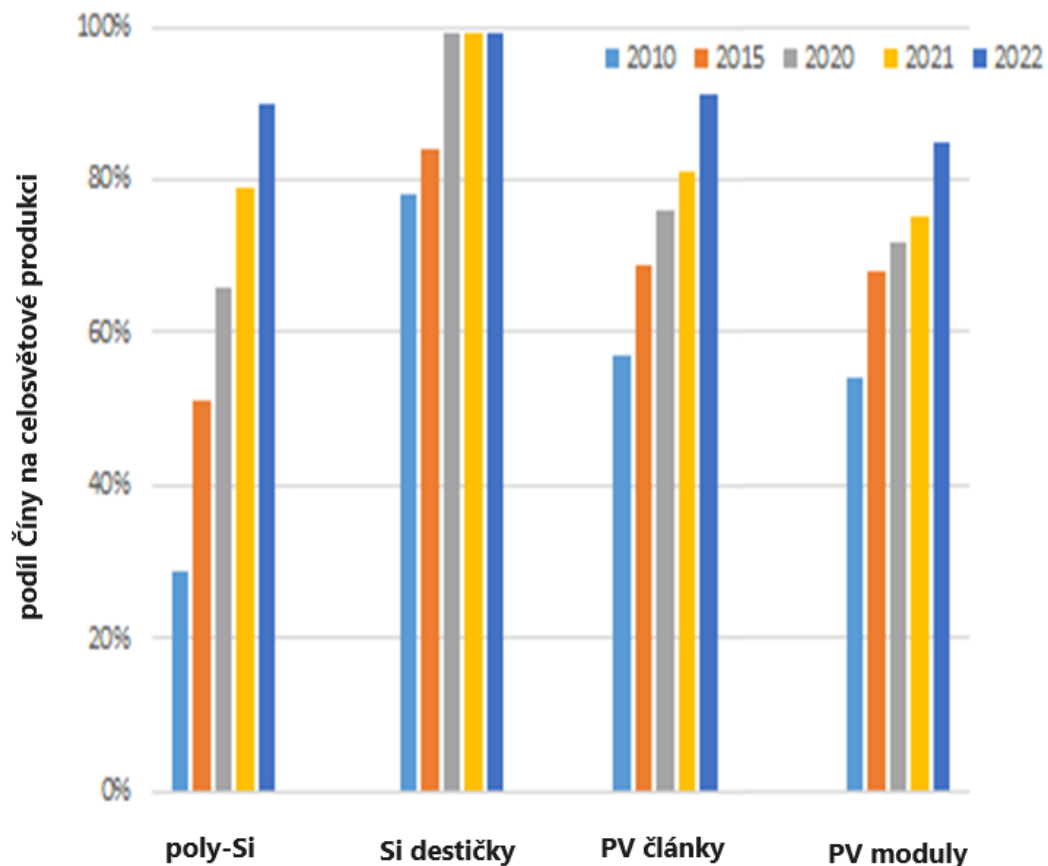
Zabezpečení všech materiálů a komponentů pro výrobu

Rozsáhlá výzkumně-vývojová základna

Dominantní postavení Číny

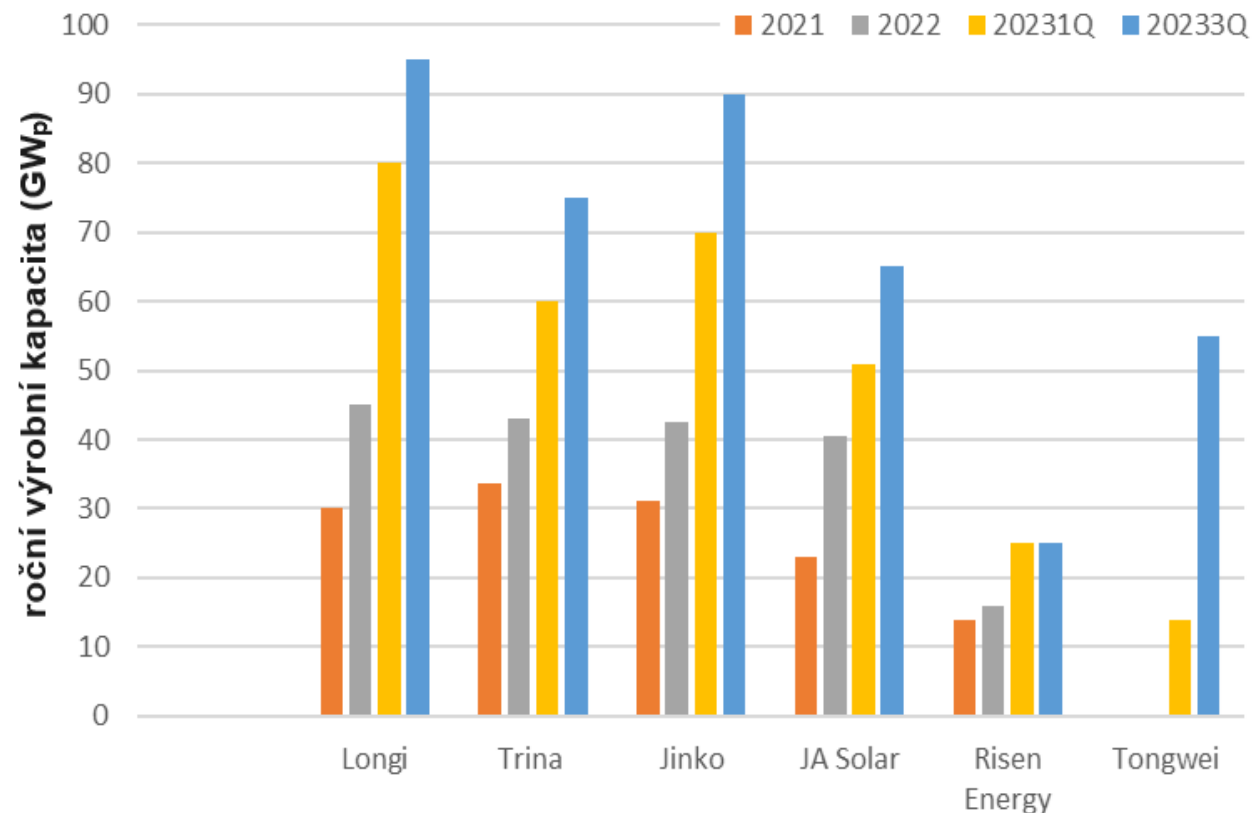
Výroba PV modulů v Číně

2020	125	GW _p
2021	182	GW _p
2022	280	GW _p

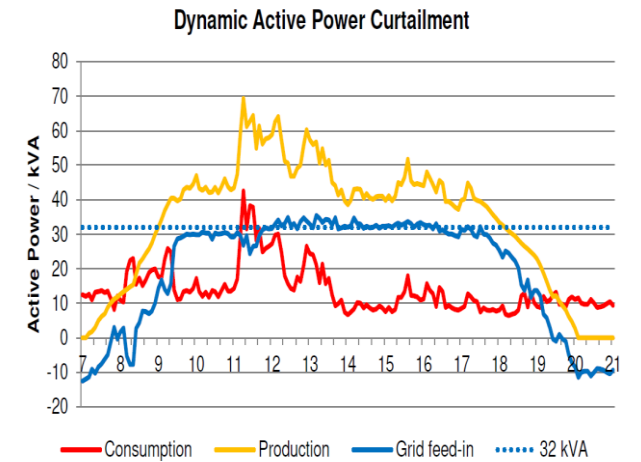
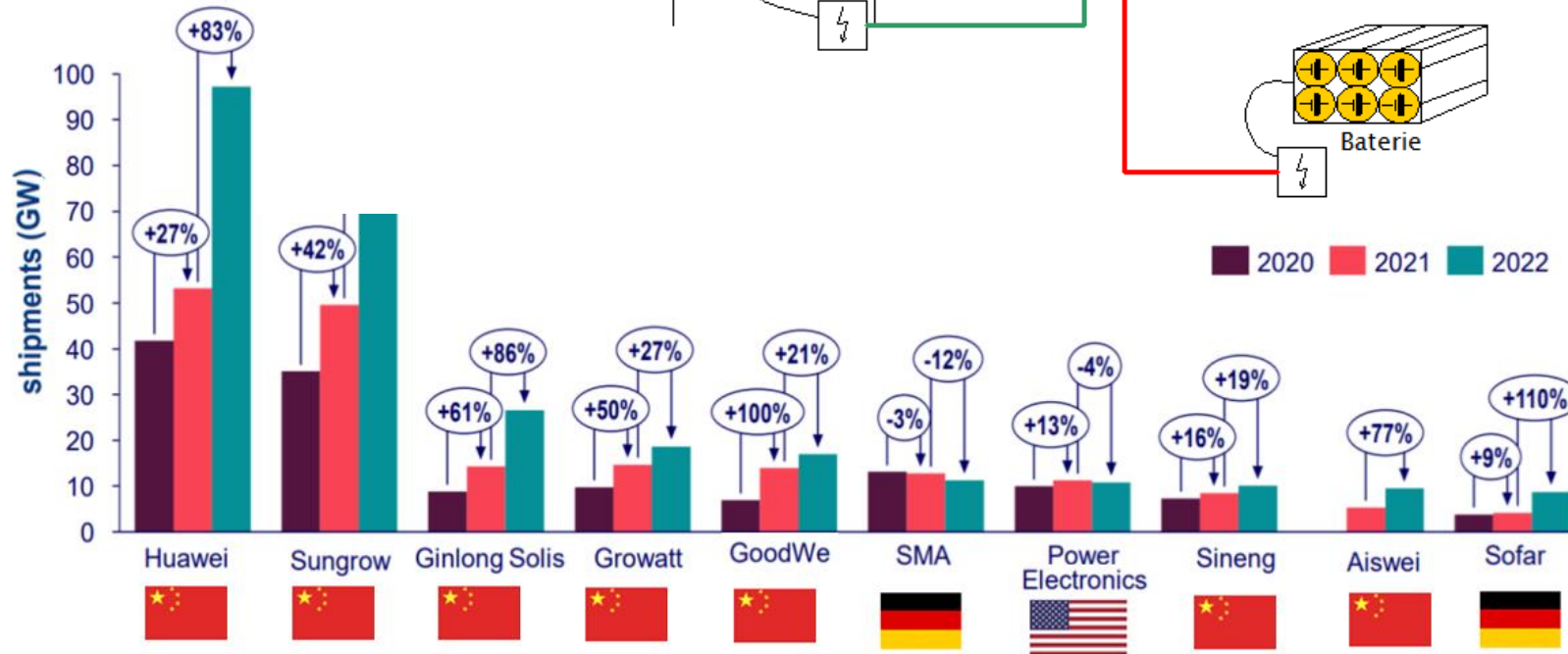
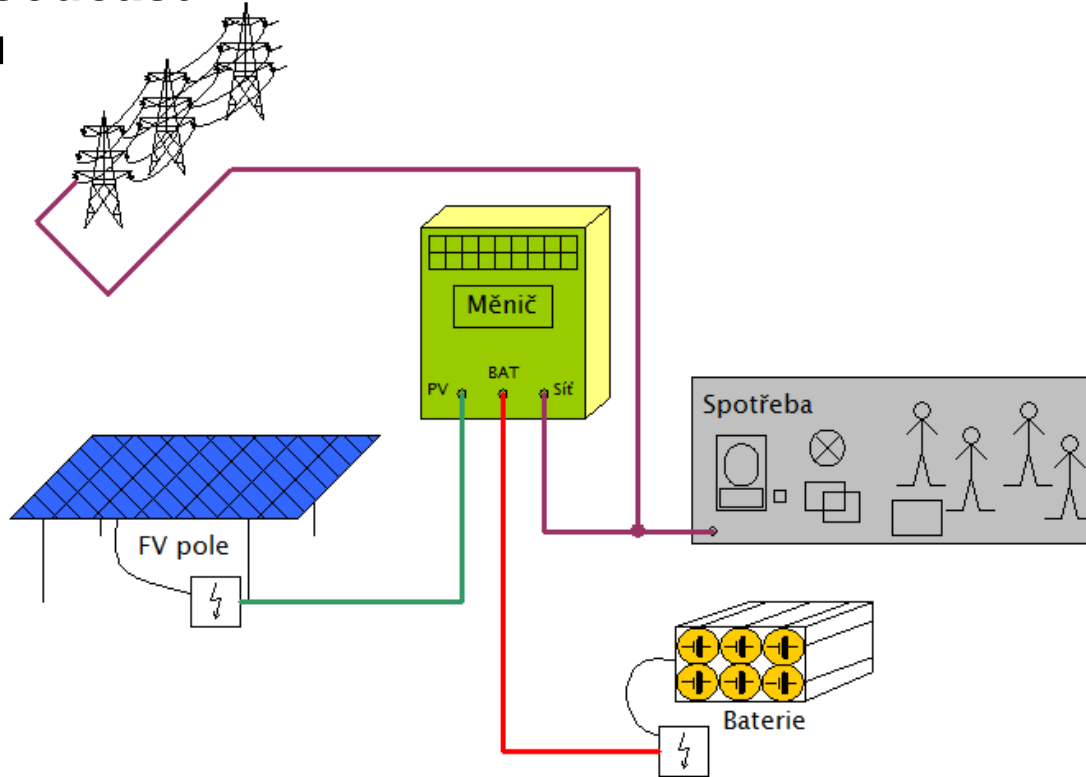


Roční výrobní kapacita 6 největších světových (čínských) výrobců přesahuje koncem roku 2023 úroveň 400 GW_p, celková celosvětová výrobní kapacita může dosáhnout 800 GW_p

Předpokládaný objem instalací v 2023 je cca 350 GW_p



Měniče – velmi důležitá součást fotovoltaických systémů



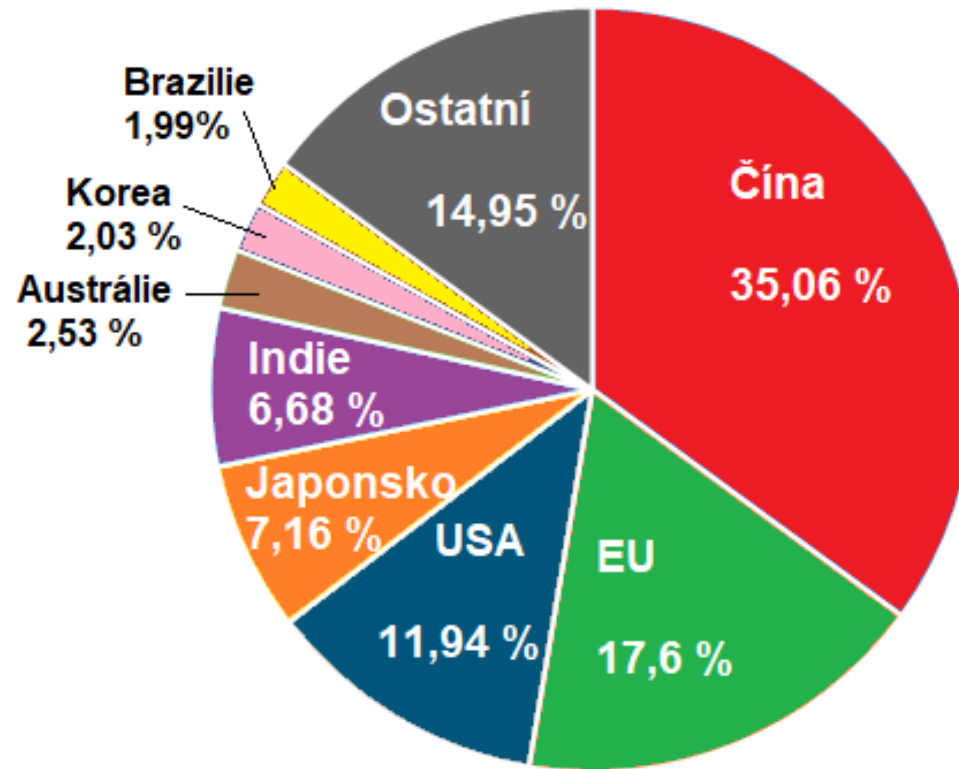
V roce 2022 vzrostl podíl Číny na 71% světové produkce měničů

Čínská dominance je menší, než v sektoru výroby PV modulů

Celkový instalovaný výkon FVE v 2022

Svět: 1185 GW_p

	GW _p
Čína	414,5
EU	209,3
USA	141,6
Japonsko	84,9
Indie	79,1
Australie	30
Korea	24,8
Brazílie	23,7
Ostatní	177,2

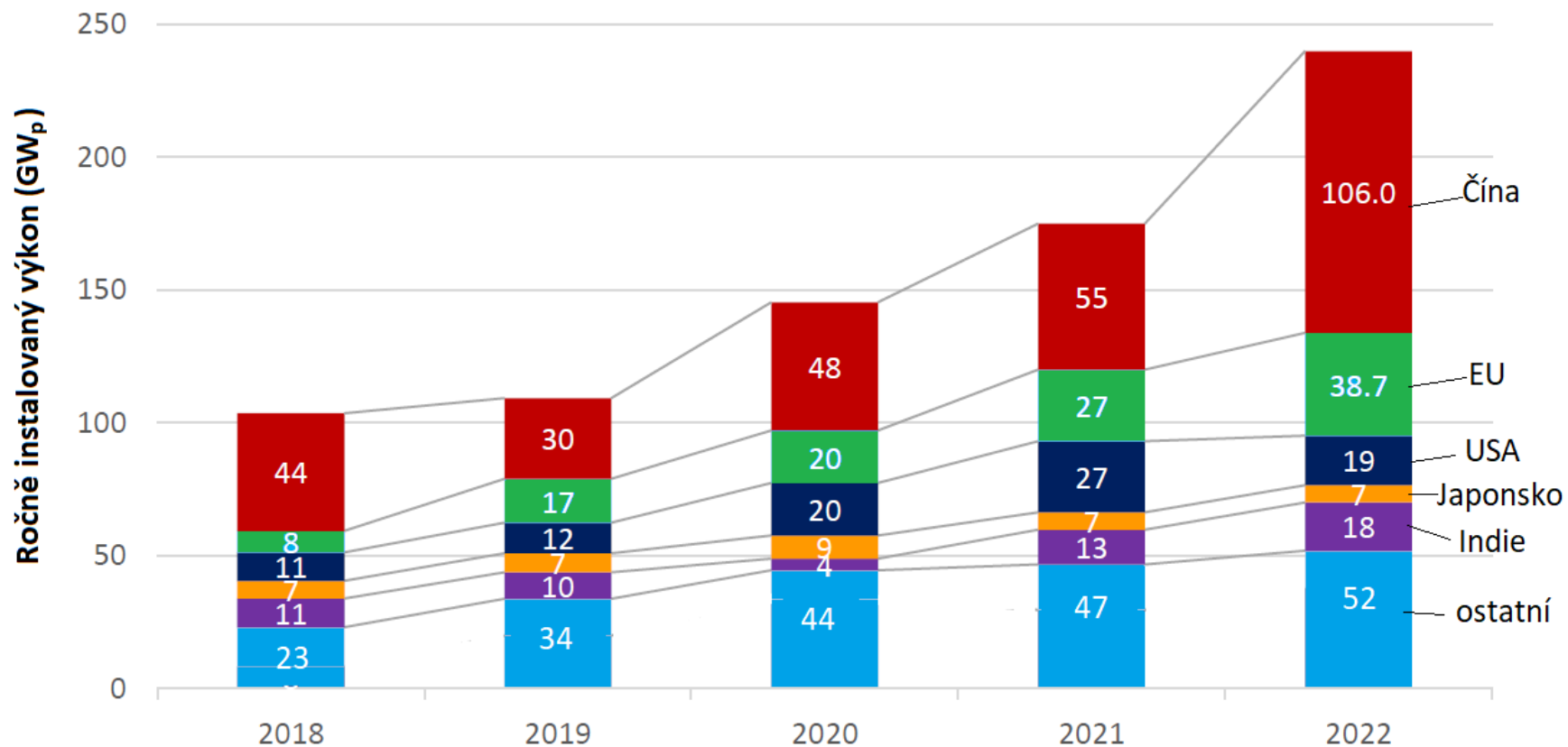


U.K. 14,1 GW_p

EU: 209 GW_p

	GW _p
Německo	68,5
španělsko	26,5
Itálie	24,7
Holandsko	18
Francie	16,1
Polsko	12,5
Belgie	7,9
Řecko	5,6
Portugalsko	4,2
Dánsko	3,9
Maďarsko	3,9
Rakousko	3,8
Švédsko	2,7
ČR	2,6
Ostatní	8,8

Ročně instalovaný výkon 2018-2022



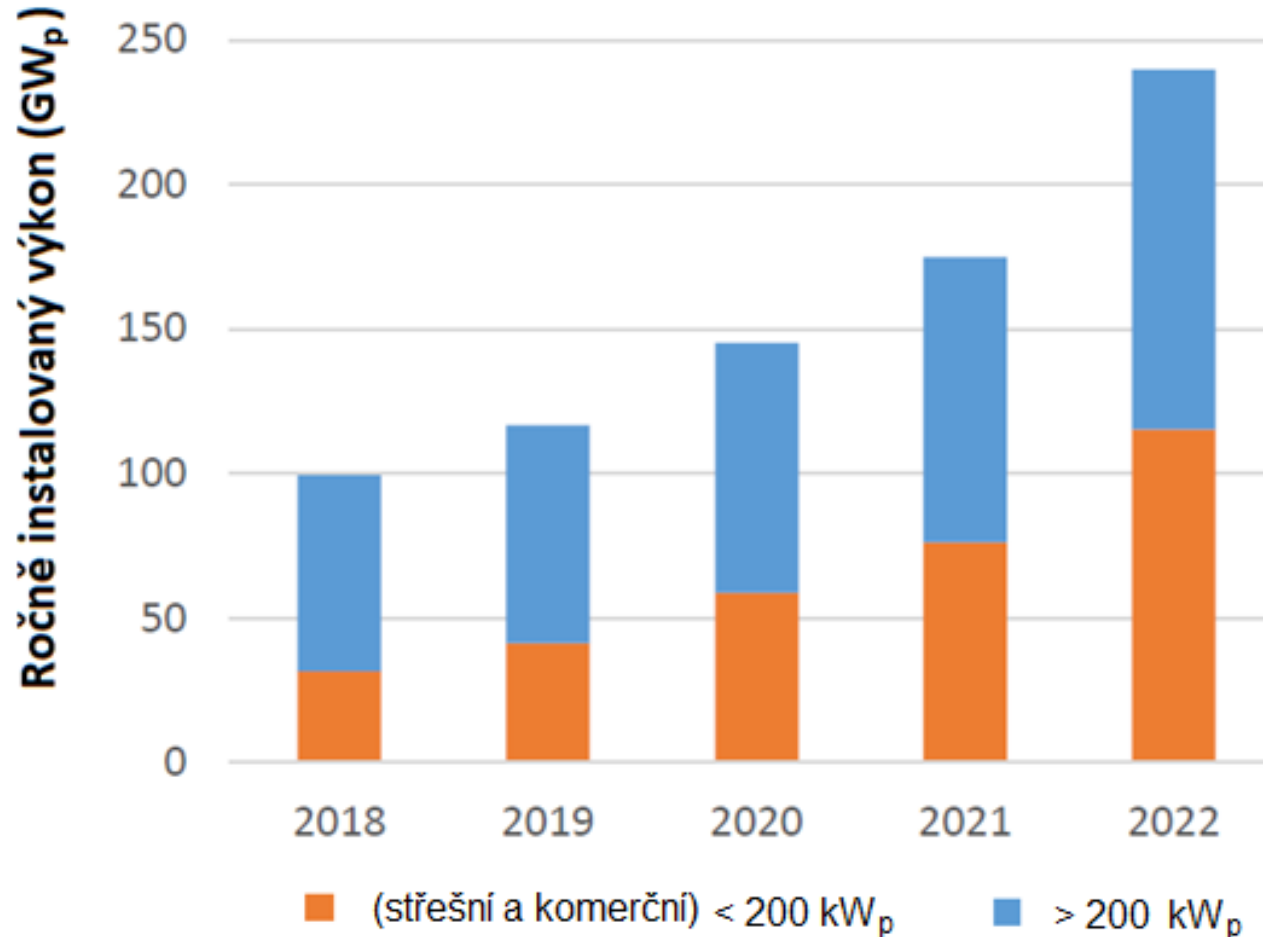
Source: IEA PVPS

Výkon instalovaný v EU v roce 2022

Španělsko	8.1 GW _p
Německo	7,5 GW _p
Polsko	4,9 GW _p
Holandsko	3,9 GW _p
Francie	2,9 GW _p
Itálie	2,5 GW _p
Dánsko	1,6 GW _p
Řecko	1,4 GW _p
Rakousko	1,0 GW _p
Maďarsko	1,0 GW _p
Zbytek EU	3,9 GW _p

V roce 2022 instalovalo 23 zemí výkon ≥ 1 GW_p

Výkon fotovoltaických instalací

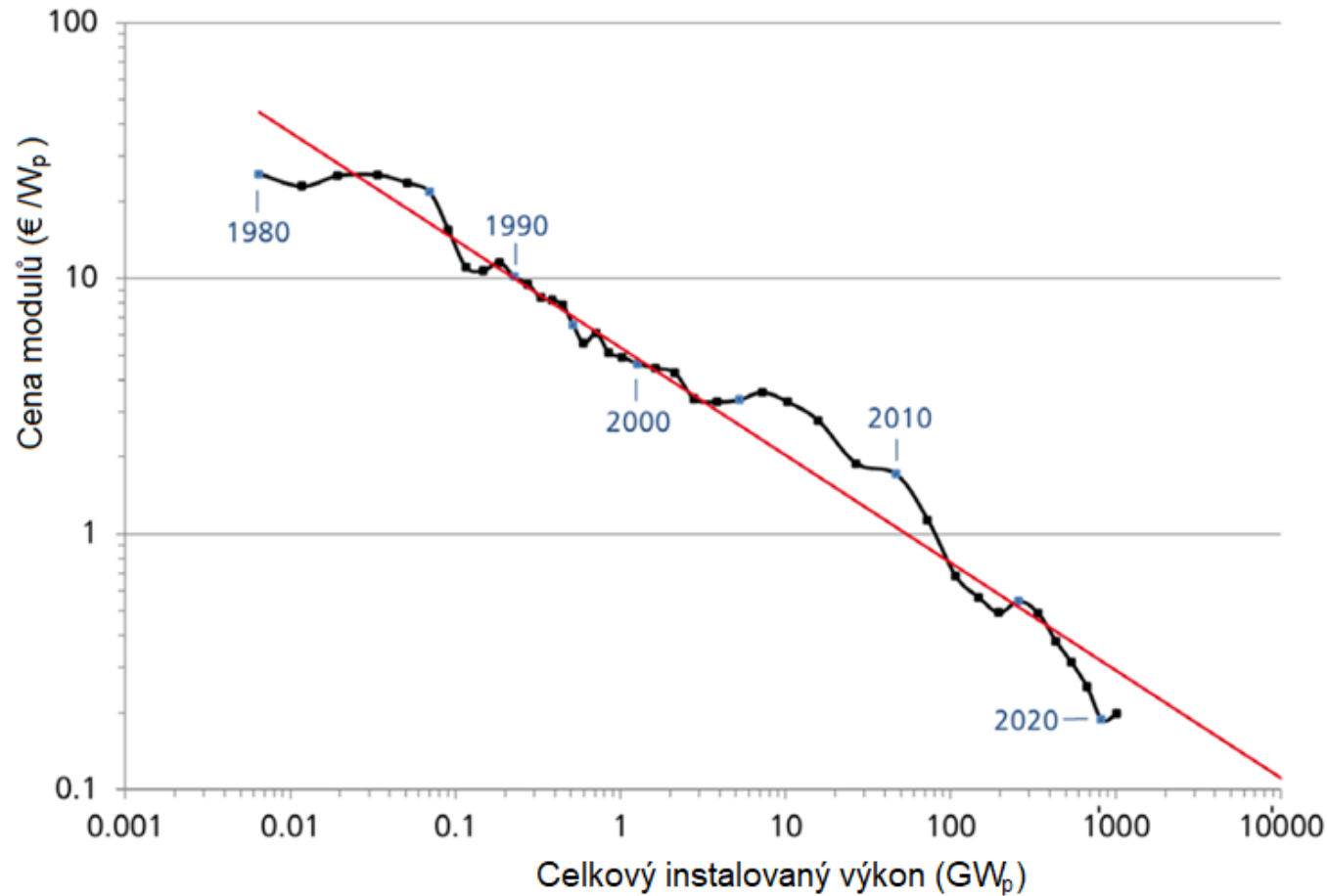


Velké systémy mohou vyrábět elektřinu za nižší cenu, vyžadují velké plochy

Nárůst cen elektrické energie, dotace a pobídky vedly ke značnému (rekordnímu) nárůstu PV systémů (zejména střešních) výkonem do 200 kW_p (Čína, USA a EU)

Vývoj se v jednotlivých zemích liší, závisí na podmínkách

Strategický cíl: učinit fotovoltaiku významným energetickým zdrojem



© Fraunhofer ISE

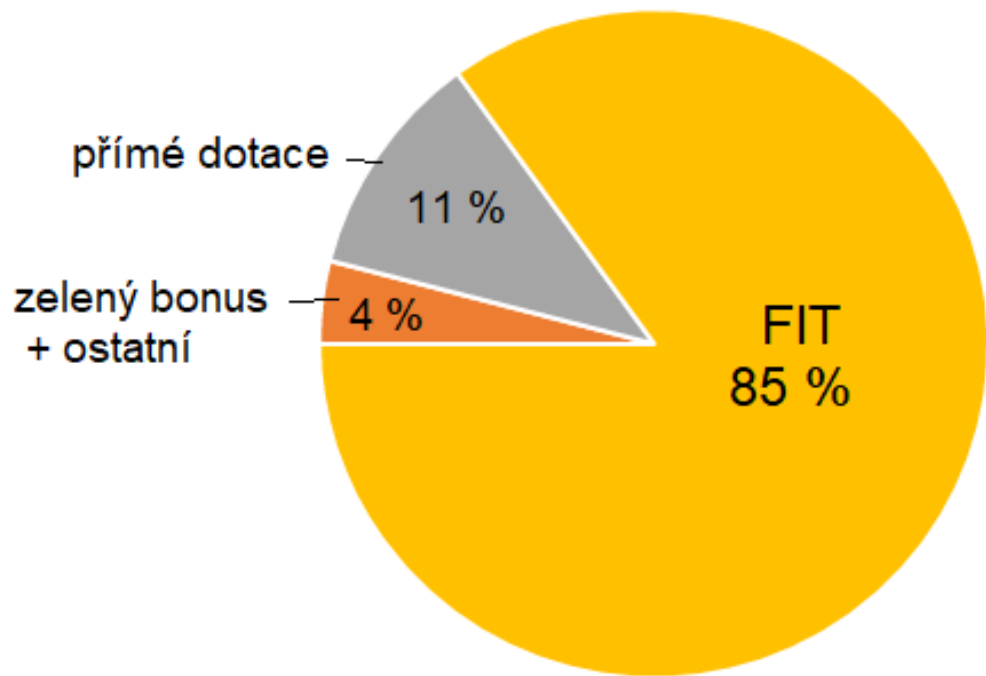
Desetinásobné zvýšení produkce se projeví v poklesu ceny na polovinu

Ke zvýšení poptávky byly použity různé politicko-ekonomické nástroje

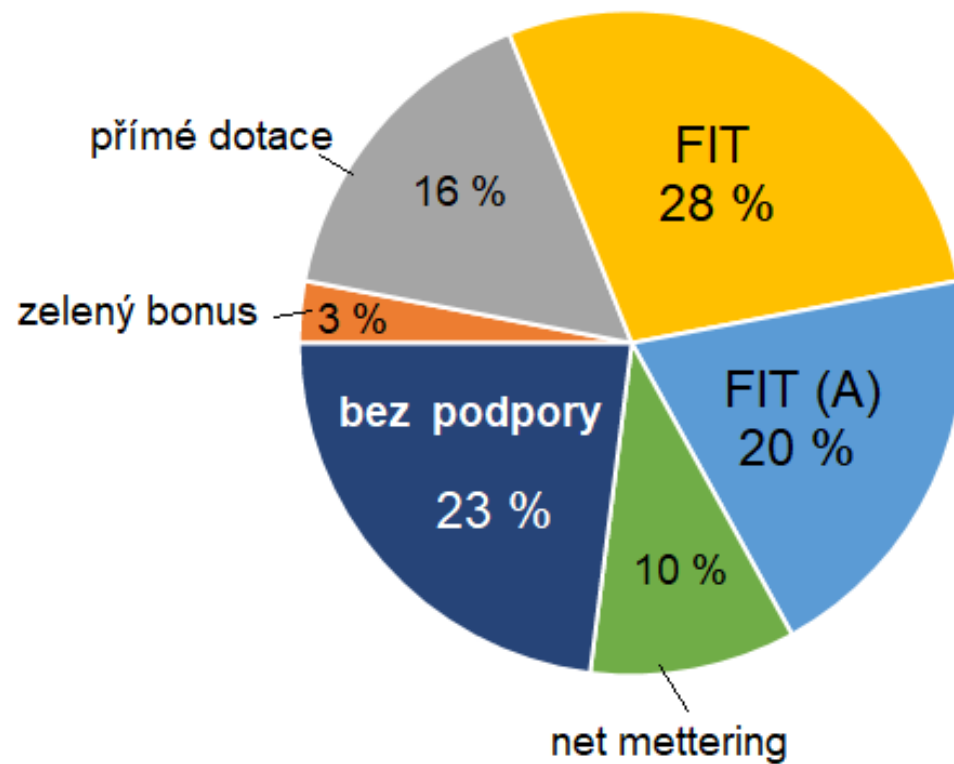
V období 1990-2020 došlo k výraznému zvýšení výroby i poklesu pořizovací ceny fotovoltaických systémů

Formy veřejné podpory pro budování fotovoltaických systémů

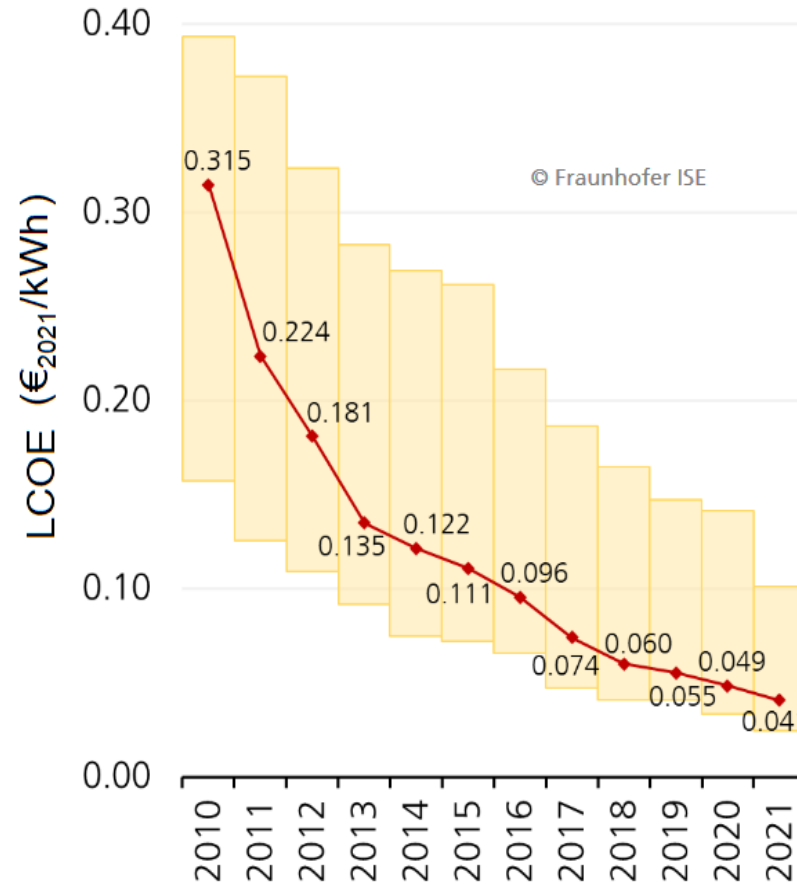
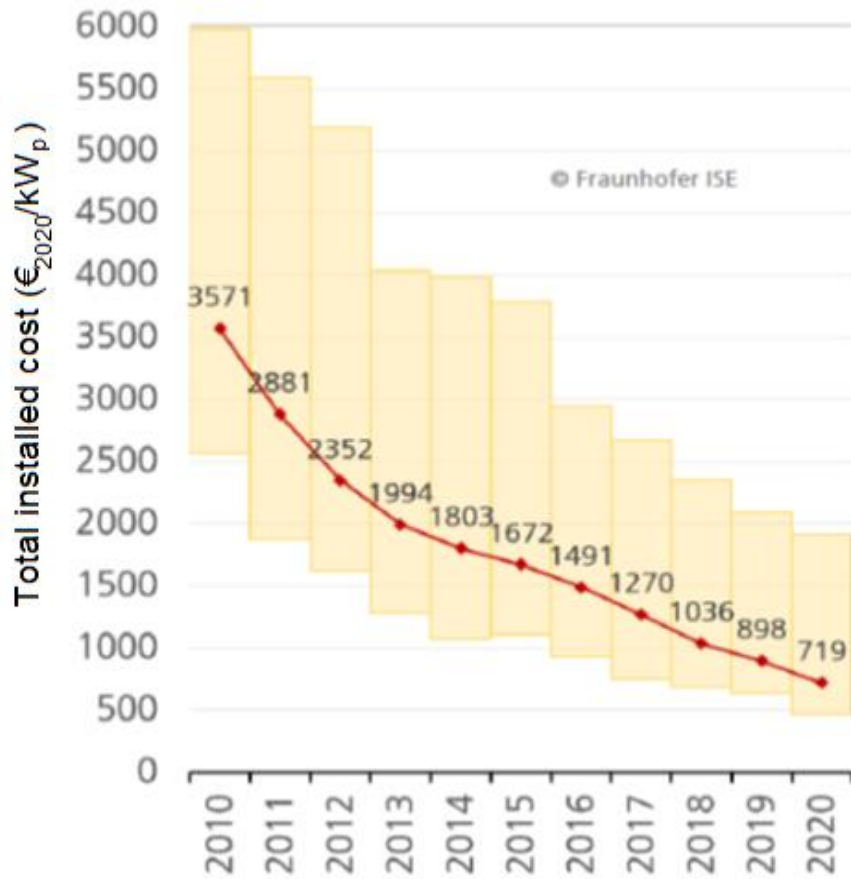
2010



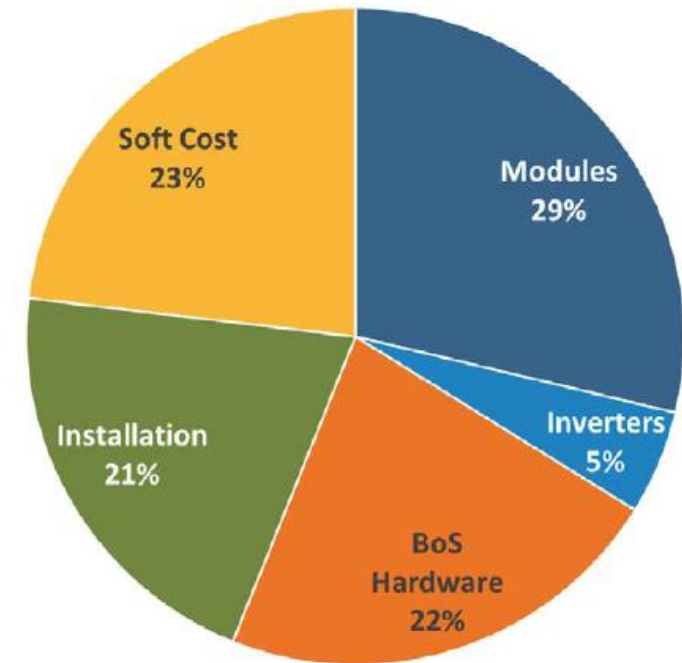
2021



Utility scale PV systems



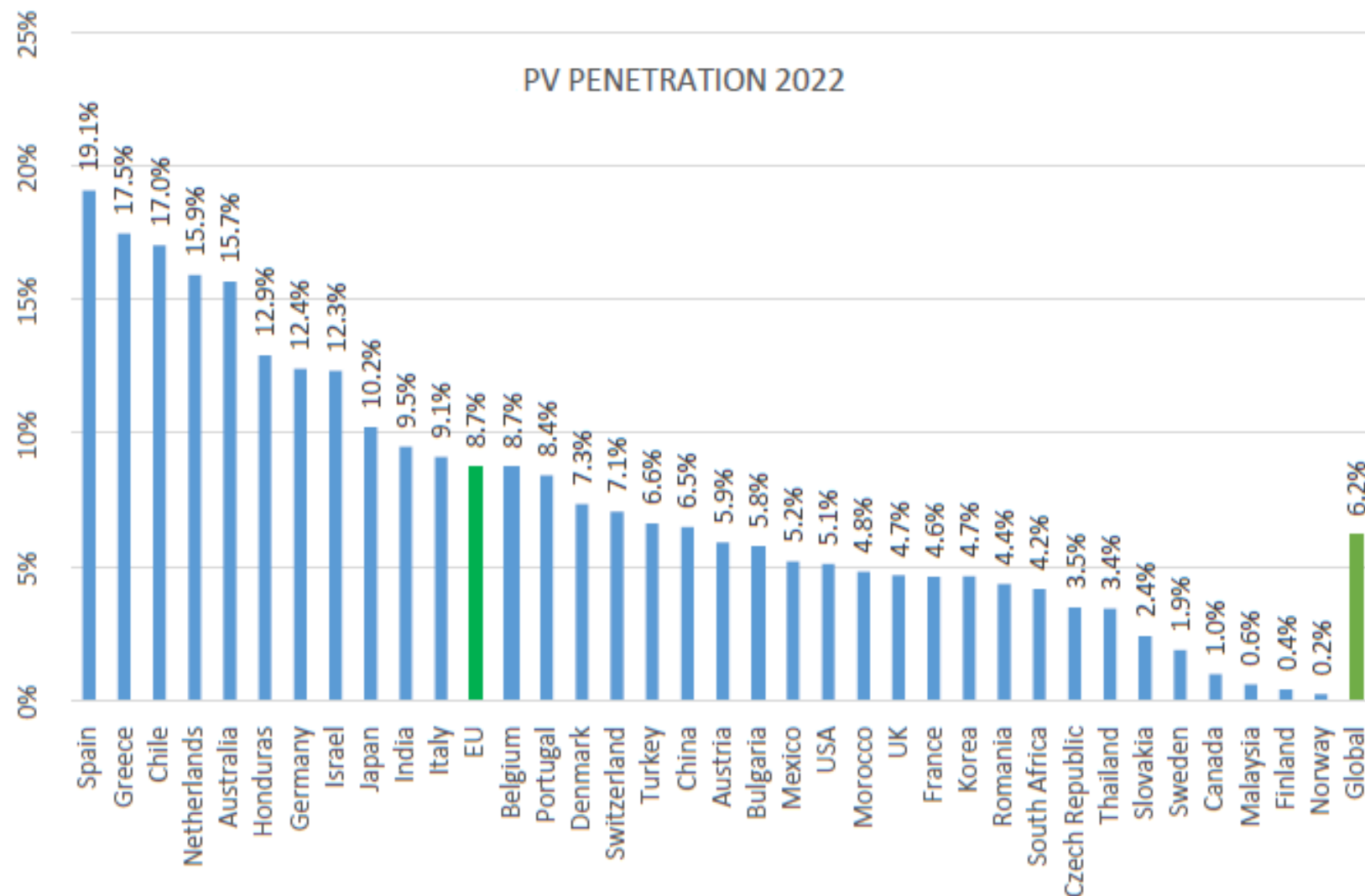
Struktura průměrných nákladů

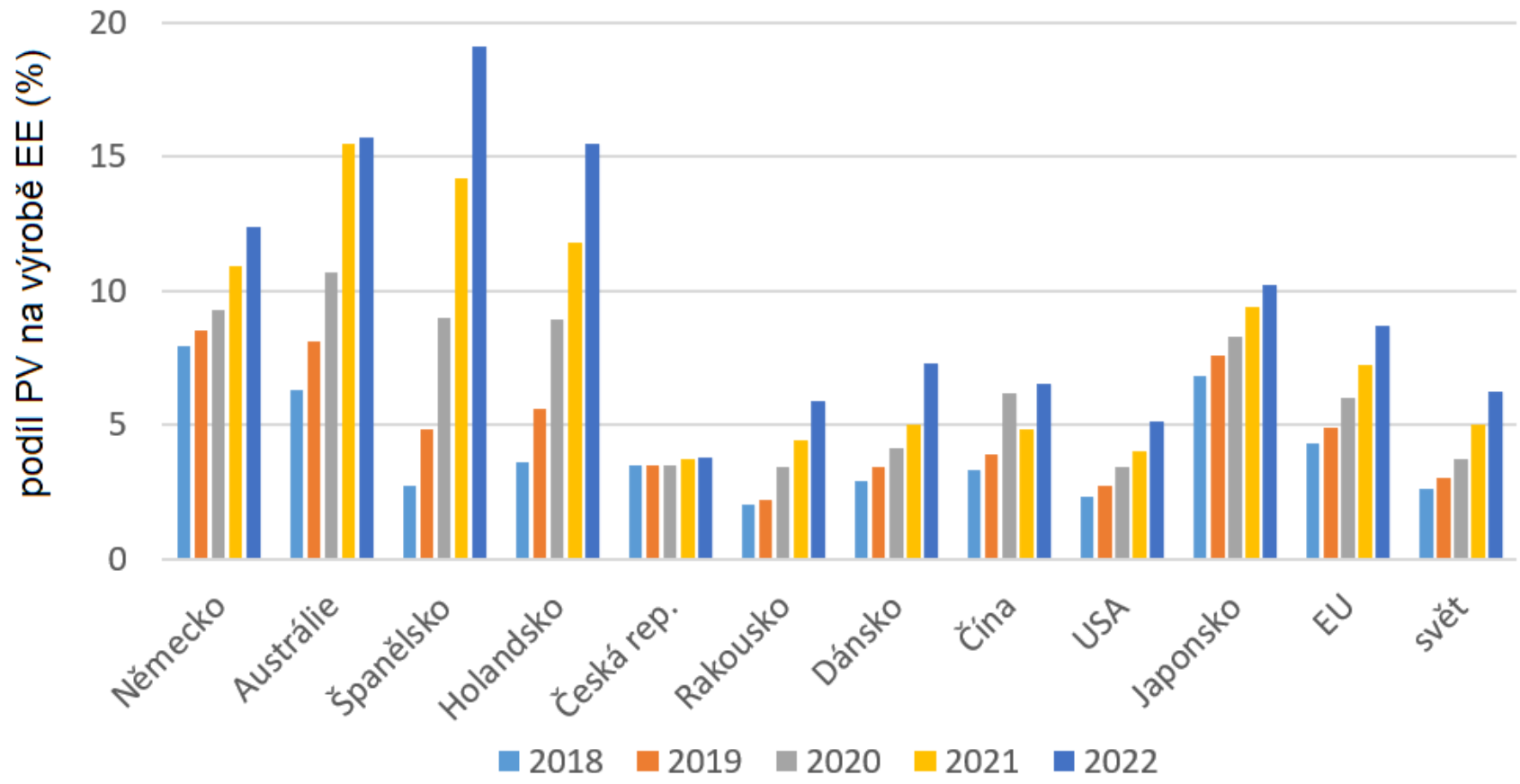


Podíl fotovoltaiky na výrobě elektrické energie v jednotlivých zemích

Výkon FVE (2022)
na jednoho obyvatele

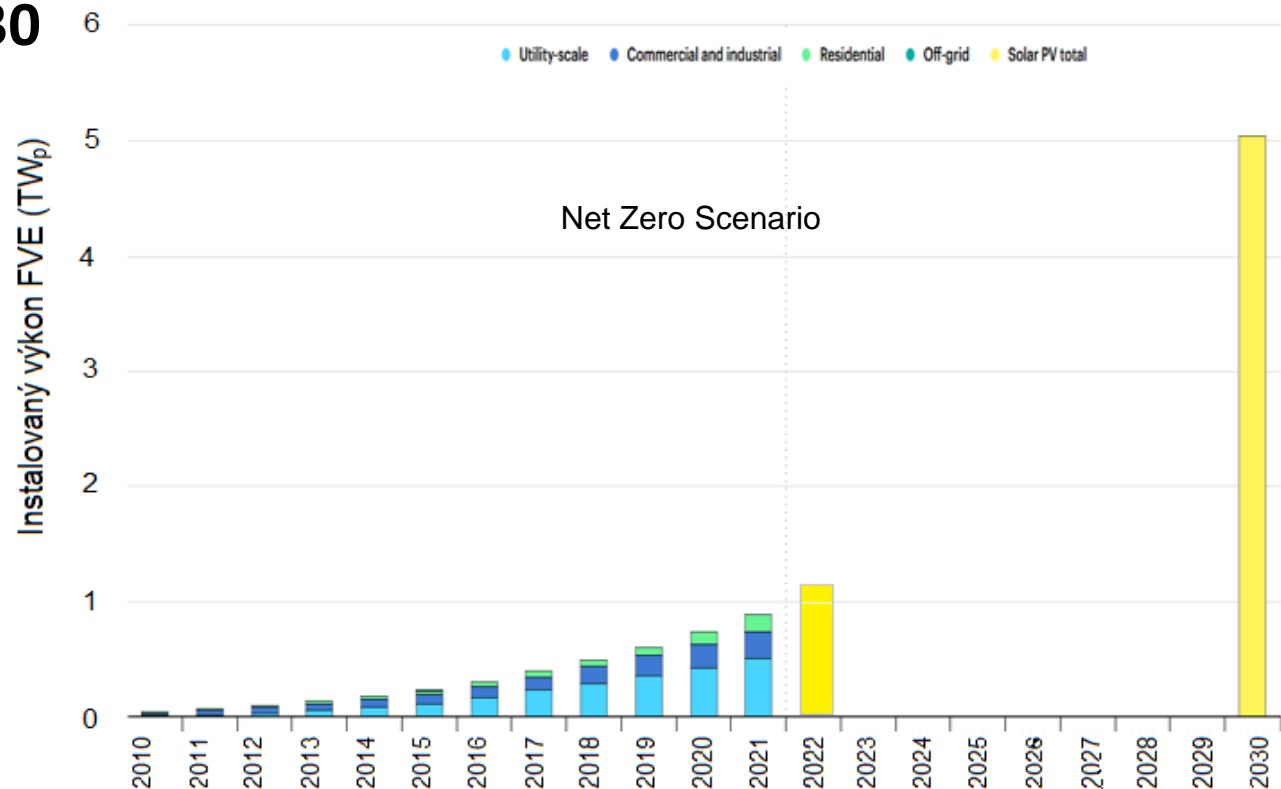
Austrálie	1166
Holandsko	1040
Německo	807
Dánsko	675
Japonsko	674
Belgie	663
Estonsko	596
Španělsko	560
Řecko	541
Korea	478
USA	424
Itálie	417
Polsko	330
Čína	296
ČR	245
Francie	236
Svět	150



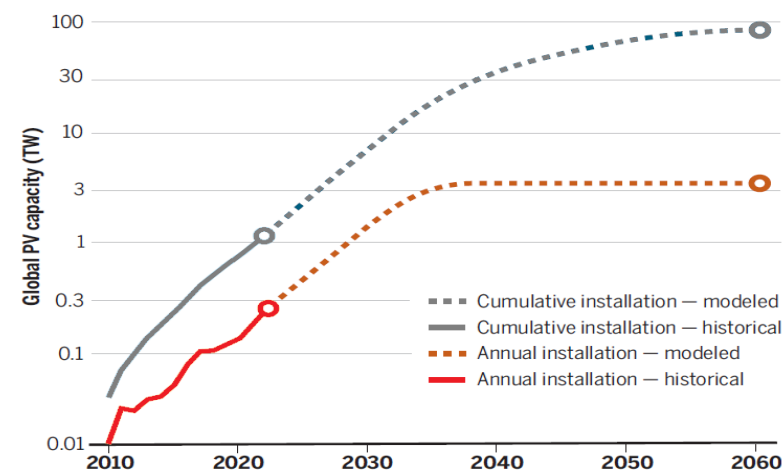


Plány rozvoje fotovoltaiky do roku 2030

- **EU** : National Energy and Climate Plans (NECPs) předpokládá vybudování 335 GW_p PV systémů, plán REPowerEU zvyšuje cíl na vybudování 750 GW_p
- **Čína**: 14. pětiletý plán předpokládá dosáhnout 18 % celkové výroby elektrické energie pomocí fotovoltaiiky a větrných elektráren do roku 2025
- **USA**: the Inflation Reduction Act, zvyšuje výrazně podporu výstavby fotovoltaiických systémů v následujících 10 letech , podpora především pomocí daňových úlev

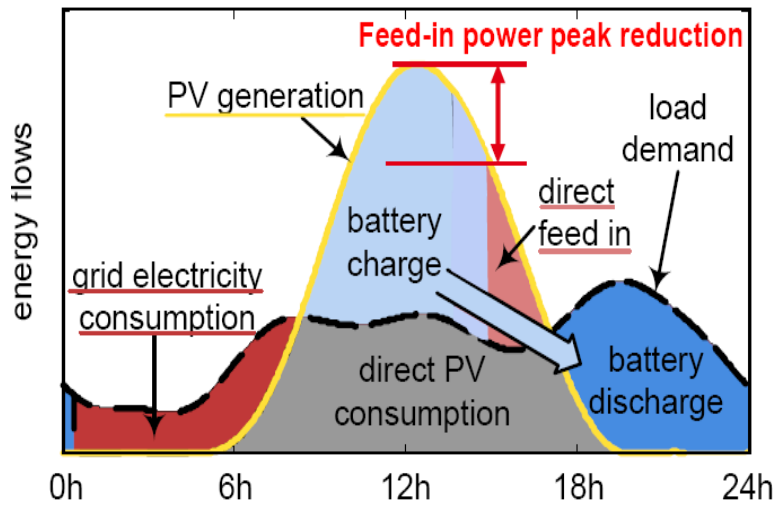
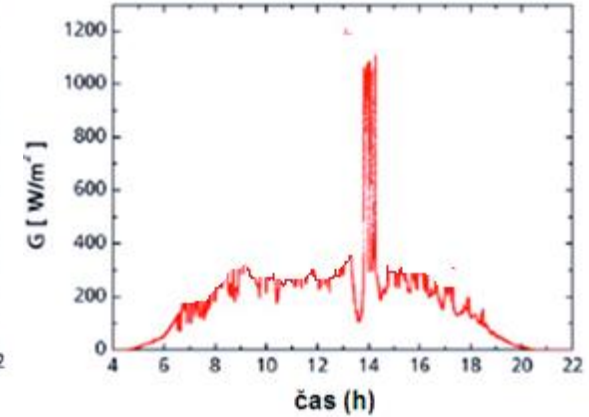
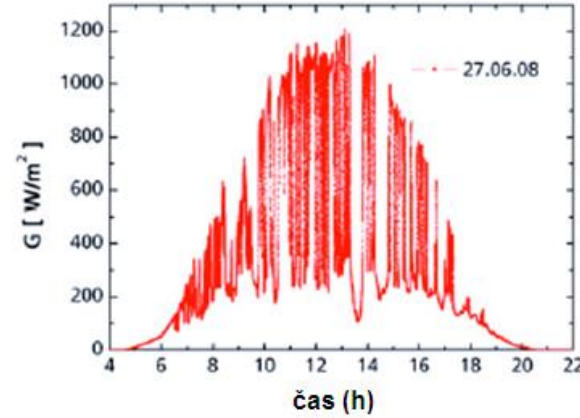
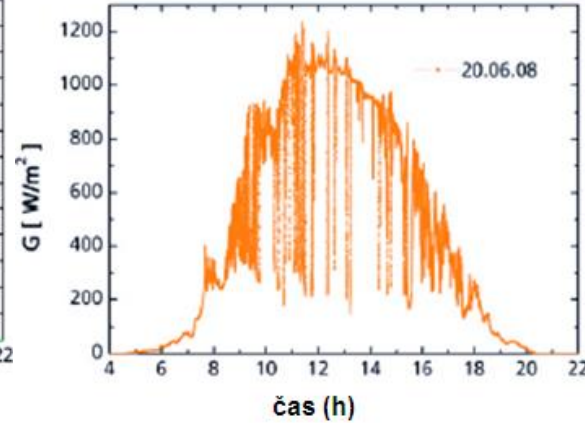
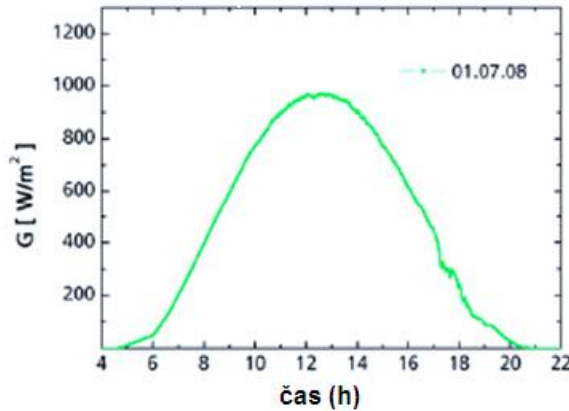


Předpokládá se
meziroční nárůst 25 %



Problémy využíváním fotovoltaických zdrojů

Fluktuace ozáření se promítají do P_{\max}



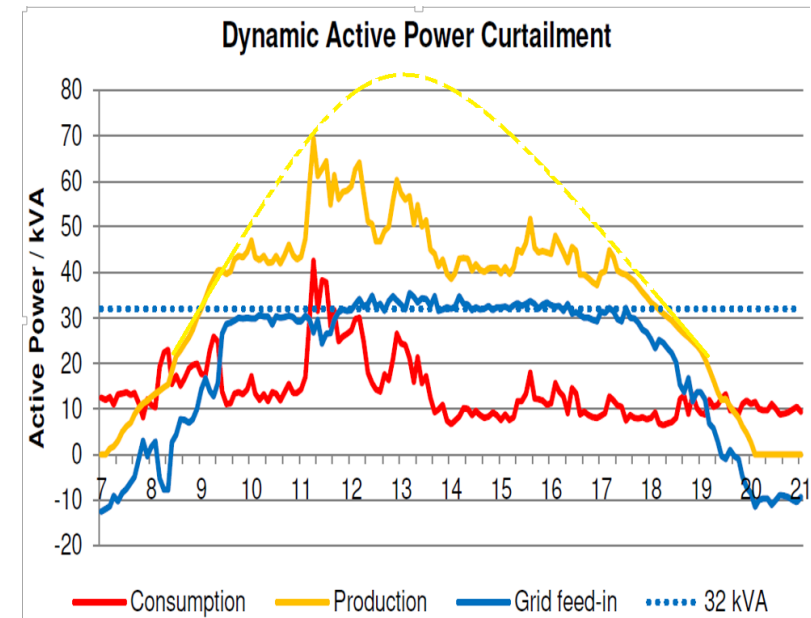
omezené možnosti dispečerského řízení výkonu – ozáření nelze zvyšovat

Úložiště energie (akumulátory, teplo, H₂, metanol...)

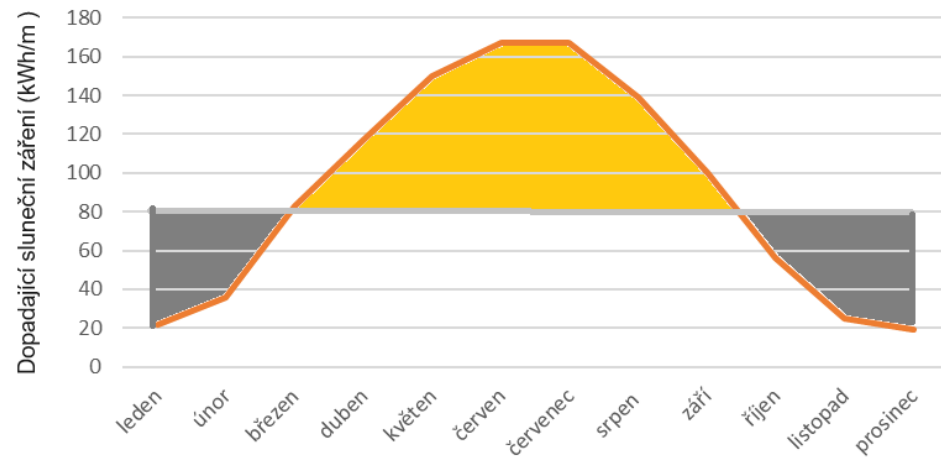
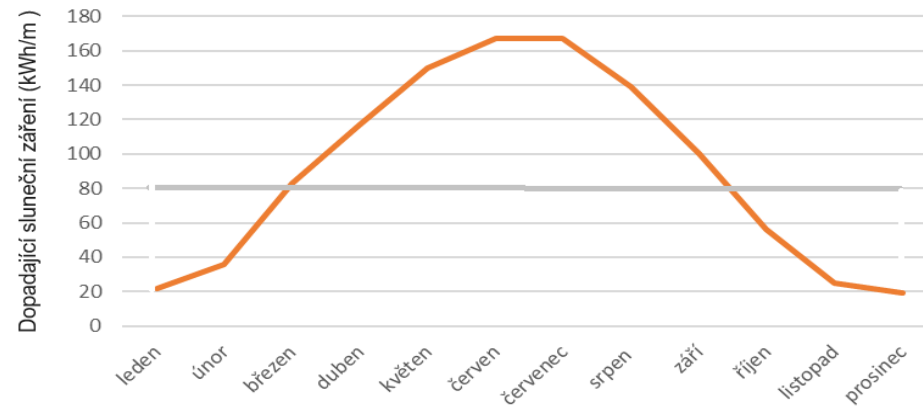
Realizace úložišť představuje další náklady

dispečerské řízení výkonu – výkon lze v případě potřeby snížit

- Snižuje se rovněž kapacitní faktor

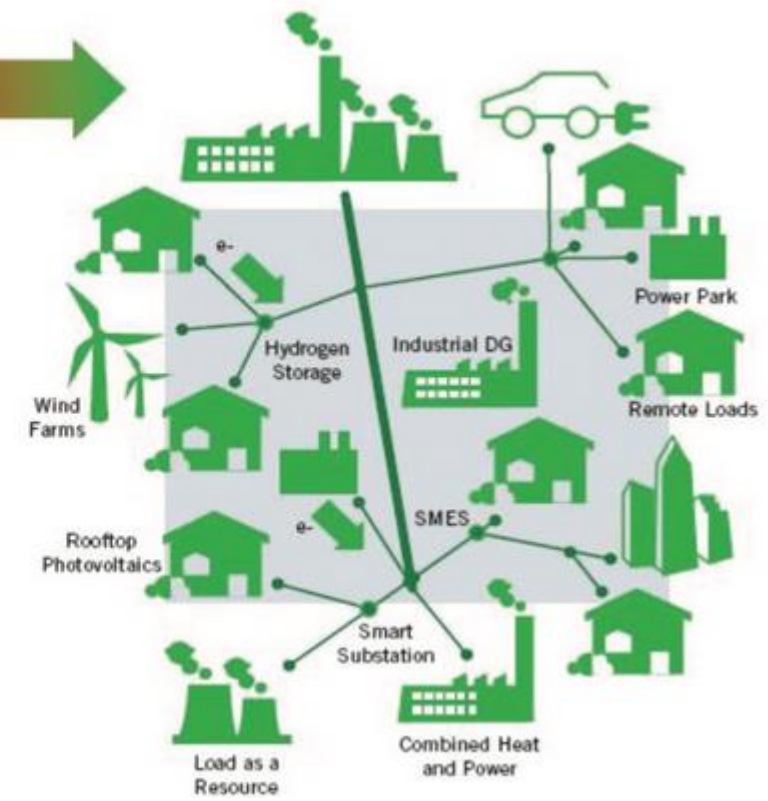
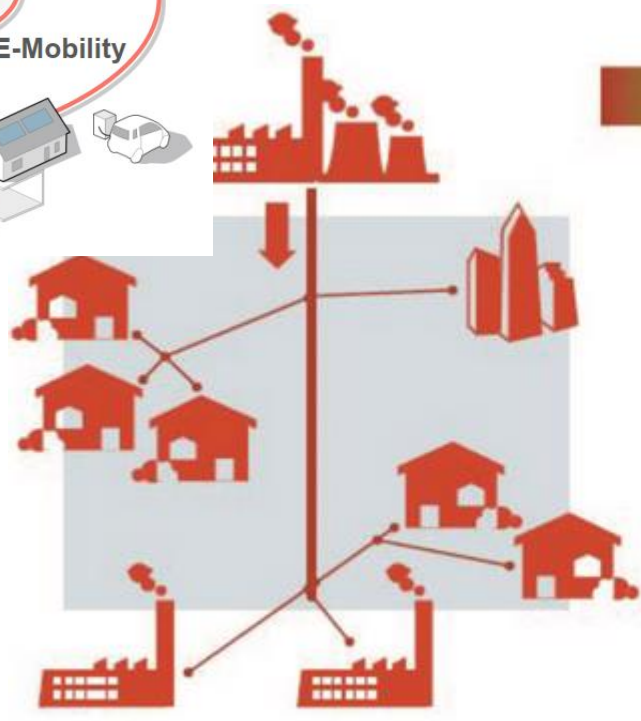
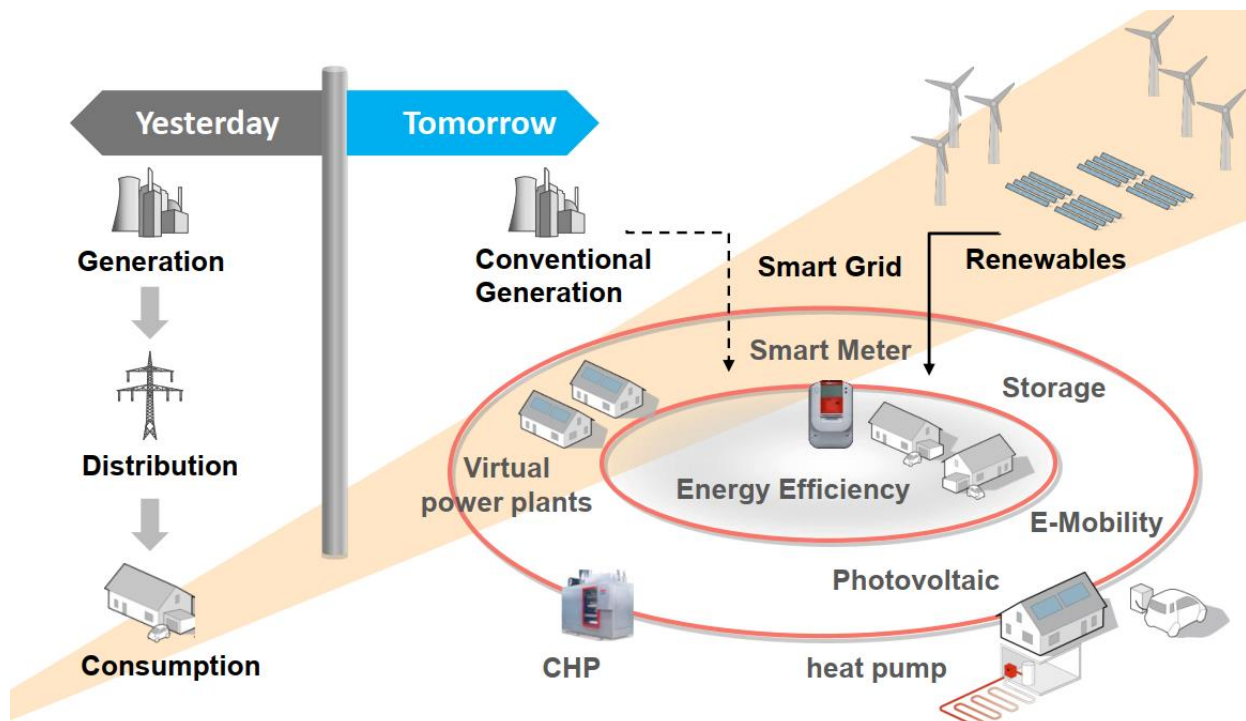


Sezónní fluktuační osvětlení



Možnosti

- značné předimenzování FVE
- enormně velká úložiště
- nebo kogeneraci



Source: IEEE

Děkuji za pozornost

